第22卷 第1期 昆虫学报 Vol. 22, No. 1
1979 年 2 月 ACTA ENTOMOLOGICA SINICA Feb., 1979

稻褐飞虱迁飞规律的研究*

程遐年 陈若篪 习学 杨联民
朱子龙 吴进才** 钱仁贵** 杨金生**
（江苏农学院植物保护系）

摘要 褐飞虱已成为我国当前水稻生产上的重要害虫。初步查明，褐飞虱在我国过冬地区的分布大体以一月份 12℃ 等温线为北限，由于各年冬季气温高低的不同，越冬北界摆动于北纬 21—25° 之间；冬季田间有无稻苗存活，是能否在当地过冬的生物指标。按越冬分布可划分为：1.终年繁殖区：北纬 19° 以南的海南岛南端；2.少量越冬区：海南岛中部至北回归线之间；3.不能越冬区：常年在北回归线以北无越冬。

褐飞虱常年不能越冬的广大稻区内，每年春夏季发生的虫源，经近年来多方面研究，证明是自南向北远距离迁飞而来。

根据褐飞虱在我国的越冬分布，南、北各稻区发生的代数和季节性种群消长规律，试将我国东半部划分为六个发生区：即终年繁殖区、少量越冬区、南岭 6、7 代区、岭北 5 代区、沿江 4 代区、沿淮 2—3 代区。

近三年的研究，特别是 1977 年在我国各稻区设点进行迁飞跟踪观察表明，春、夏季向北迁飞有五个过程，秋季又有三次向南回迁。褐飞虱在我国东半部的迁飞途径大体是：4 月中、下旬—5 月上旬第一次"北迁"，是由 19°N 以南终年繁殖区迁到两广南部 20—23°N 之间；5 月中、下旬—6 月上旬第二次"北迁"，是由海南岛中部往北及中南半岛同纬度地区迁到我国两广南部和南岭地区；6 月中、下旬—7 月初第三次"北迁"，是由两广南部稻区主迁到南岭以北至长江南岸；7 月上、中旬第四次"北迁"，是由南岭地区主迁到长江中下游地区，并波及淮河流域；7 月下旬—8 月初第五次"北迁"，是自岭北、沿江区南部迁到江淮间及淮北稻区。8 月下旬—9 月初沿淮、淮北中稻成熟，开始往南回迁，9 月中旬出现由江淮间迁向长江以南的回迁峰；9 月下旬—10 月上旬，由长江中、下游回迁到南岭以北各地；10 月中旬起—11 月间，由江南、岭北回迁到华南以及更南地区。通过上述研究，初步提出我国东半部地区褐飞虱的发生区划与迁飞路线图。

前言

近十年来，褐飞虱（*Nilaparvata lugens* Stål）在我国及亚洲一些国家大发生的频率显著增高，其发生规律特别是有关越冬虫源和迁飞特性的研究，引起普遍的重视。我国长江流域和南方各省，如广西、广东、江苏、浙江、安徽、福建、湖北、四川等十多个省、区的一些研究单位都曾对褐飞虱越冬状况，连续多年作过广泛的调查[3,4,6,7,8]。据各地多年调查的结果，仅在两广南部和福建龙溪等小部分冬、春温暖地区，少量成虫、若虫或卵在再生稻、落谷苗上可正常存活过冬。过去湖南曾有报道褐飞虱以卵在游草上过冬[1]；及以卵在游草、双穗雀稗、千金子等禾本科杂草茎秆内越冬[2]。据浙江农科院和广西农科院前些年的研究一致表明，褐飞虱并不能在游草上生活与产卵过冬，在游草上终年生活繁殖并产

* 承中国科学院马世骏教授热心指导，并审阅文稿，特此致谢。
本研究得到广西农科院、江西农科院、郴州地区农科所、永福、乐安、歙县、淮安、赣榆等县病虫测报站的大力支持和帮助；东阳、东至、宜春、通城等一百多个县病虫测报站提供虫情和水稻生育情况资料，并此致谢！
丁锦华、孙健、王荫长、杨莲芳、程若兰、周威君、孙进兴、张家林、郝康陕、殷向东等参加部分研究工作，工作中得到江广恒、张孝羲二位老师的指导与帮助。
** 吴进才等三同志系本校 1974 届学员，已毕业分配离校。

卵过冬的是伪褐飞虱(*Nilaparvata bakeri* Muir)和拟褐飞虱(*Nilaparvata muiri* China)[3,4,6]，他们做了饲养观察及食性试验，发现褐飞虱对水稻有明显的专食性，饲养在游草、千金子等杂草上不能完成发育，即使接初孵若虫于游草等杂草上，也只能存活 2—10 天，以后都相继死亡。冬后在上述一些禾本科杂草上多次调查，也都未找到存活的褐飞虱过冬卵和孵出的若虫[4,5,6]。湖南永顺县农业局对褐飞虱越冬卵特性的研究表明，秋末在当地避风保温、有较高的温湿条件以及附近有稻株的多种杂草上产下的大批卵，并不是具备休眠或滞育特性的真正越冬卵，这种卵在当地自然条件下不能过冬。湖北省农科所进行的褐飞虱各虫期耐寒性的测定，结合当地历年冬季气温资料分析也证明褐飞虱不论卵或成虫在当地自然条件下，不可能越冬。综上所述，褐飞虱对水稻有明显专食性，喜温暖，抗寒能力弱，没有真正的休眠越冬特性。因此在我国中部和北部广大稻区冬季田间无稻苗存活的季节里难以存续，次年春、夏季发生的虫源，推测只能是由热带终年发生地迁飞而来。朝比奈、鹤冈等 1967 年 7 月在日本本州西南 500 公里的太平洋海洋气象观测站（称作"南点"）发现大群飞虱越海迁飞[11]。此后，日本的岸本良一等又在"南点"及我国东海上进行十多次航海观察，积累了许多事实，足以说明飞虱类可作几百公里以上的远距离迁飞[9,10,11,12,13,16,19]。但由于日本地理环境的限制，对飞虱类迁飞的真实面貌无法查明。我们从 1976 年起，在中国农林科学院的支持和全国一百多个病虫测报站及有关研究单位帮助下，开始进行我国东半部地区褐飞虱迁飞规律的研究，充分利用我国地域辽阔及社会主义大协作的优越性，试图探明褐飞虱在我国东半部以至整个东亚地区的迁飞途径，为开展中、长期预测和寻找根治途径提供依据。

研 究 方 法

褐飞虱迁飞特性的研究，包括南方越冬情况的考察，"同期突发"资料的观察与分析，各稻区长翅型成虫盛发期与水稻栽培制度及生育期关系的调查，褐飞虱雌虫卵巢发育与迁飞关系的研究，以及迁飞全过程有关气象条件的分析等。

褐飞虱迁飞途径的研究，系采用定距设点，对迁飞进行跟踪观察。

观察点的设立以 1976 年提出的《我国东半部地区褐飞虱发生区的划分和迁飞途径的设想》为基础，自广西南宁(北纬 22°49′)至江苏淮安(北纬 33°40′)，每隔 1—2 个纬度设一个观察点，进行各发生区褐飞虱迁入、迁出的跟踪观察，研究不同地区之间迁飞的衔接关系。各点的位置是:

广西	南宁广西区农科院	N22°49	E108°21′
广西	永福县病虫测报站	N25°00′	E110°00′
湖南	郴州地区农科所	N25°48′	E113°02′
江西	乐安县病虫测报站	N27°24′	E115°48′
江西	南昌江西省农科院	N28°40′	E115°56′
安徽	歙县病虫测报站	N30°08′	E118°13′
江苏	扬州本院病虫测报站	N32°28′	E119°30′
江苏	淮安县病虫测报站	N33°40′	E119°08′

1977 年在上述各点用统一的方法，调查褐飞虱的消长情况，对照大范围内"同期突增突减"的资料，研究其迁飞规律；同时，从各地水稻栽培制度、生育期，褐飞虱的发育情况，

运用天气资料，研究分析其迁飞动态，并作了迁出、迁入期及发生为害程度的试验预报。

地面气象资料分别由各地气象台、站提供，高空气象资料由南京气象台提供。

在实验室内初步研究了褐飞虱的迁飞生理机制。

研究结果及分析

（一）我国南方褐飞虱越冬情况的考察

1977 和 1978 两年的 2—3月间，我们前往广东、广西、福建南部的一些地方，调查褐飞虱的越冬情况。现将调查的结果和以往的有关资料，一并整理，列于表 1。

从表 1 可以看出，褐飞虱在我国的越冬地区，大体以一月份 12℃ 等温线，或冬季出现极端低温 2—3℃ 的地方为界限。常年一月份 12℃ 等温线与北迴归线相一致，因此，越冬北界大体沿着北迴归线（北纬 23°26′），而冬季气温在年度间差异较大，每年实际越冬北界，则随冬季气温高低摆动于北纬 21—25℃ 之间，除温度外，冬季田间有无稻苗存活，是能否越冬的生物指标。如 1976 年冬季气温为近年中最低的一年，1977 年 2—3 月份于海南岛陵水县（19°N 以南）的稻田内查到大量成虫及高龄若虫；琼海县稻田内查到的虫量较少；海口市郊绿肥田内的自生稻苗和再生稻苗上只查见少量低龄若虫和卵条；以北地区则都未查到，该年越冬北限在北纬21° 以南。1977 年冬季气温为近年中最高的年份，1978 年 2—3 月间在广西玉林（北纬 22°40′）、南宁（北纬 22°49′）、广东汕头（北纬 23°41′）和福建漳州（北纬 24°31′）都查到少量的存活成虫或若虫，该年越冬界限显然北移，接近北纬 25°。在北纬 25° 以北常年仅在特殊小生境下，如温泉附近的涌水地有再生稻正常存活，可发现个别过冬的褐飞虱。初步认为，褐飞虱在国内的越冬情况，可划分为三个区：

（1）终年繁殖区：海南岛南端五指山分界岭以南地区；

（2）不能过冬区：北迴归线以北地区；

（3）少量过冬区：介于上述两区之间的地区，并以雷州半岛中部北纬 21° 左右为界限，再划分为常年少量过冬和间歇少量过冬两个亚区。

（二）水稻生育期和长翅型成虫盛发及迁出期的关系

我国幅员广阔，从南到北气温递降，适宜水稻生长的时间也随之缩短，因此形成了不同类型的水稻栽培区和相应的栽培制度。南北各稻区早稻的栽插和黄熟收割的时间基本上是由南向北依次推迟的，这对具有迁飞和专食水稻习性的褐飞虱提供了丰富的食料。但是，褐飞虱取食不同生育阶段的水稻，则产生不同翅型的种群，一般在水稻分蘖到孕穗阶段生活的褐飞虱，以产生短翅型成虫为主；在水稻生长后期生活的，则以产生长翅型成虫为主[2,17,18]。

1977—1978 年间我们分别调查整理了 70 多个县、市的水稻栽培制度和水稻生育期、褐飞虱长翅型成虫的盛发期的情况，列于表 2。对照褐飞虱在不同地区的发生期可清楚地看出，当南面稻区水稻成熟时长翅型成虫盛发后，在其北面的另一个水稻区的灯下或田间则出现长翅型成虫的数量突增。我们认为，这就是迁出与迁入的衔接现象。因此，某一地区的水稻黄熟期和长翅型成虫盛发期，可以作为该地迁出期的标志。

（三）褐飞虱长翅型雌成虫卵巢发育与迁飞的关系

由于褐飞虱呈覆瓦式的迁飞，对一个地区来说，有多次迁入和迁出峰，判断其虫源性

表 1　褐飞虱越冬界限与各地各年冬季温度关系

年份 \ 地点	广东琼海		广东海口		广东海康		广西玉林		广西南宁		广东汕头		福建漳州		广西永福	
地理位置	N 19°14′		20°02′		20°55′		22°40′		22°49′		23°41′		24°30′		25°00′	
	E110°28′		110°21′		110°05′		110°08′		108°21′		116°37′		117°39′		110°00′	
温度与越冬	温度 ℃	越冬	温度 ℃	越冬	温度 ℃	越冬	温度 ℃	越冬	温度 ℃	越冬	温度 ℃	越冬	温度 ℃	越冬	温度 ℃	越冬
1. 一月份平均温度																
1975	18.4	+	17.2	+	15.9	+	13.5	+	13.5	+	14.1	+	13.1	+	9.4	±
1978	18.7	+	18.0	+	16.0	+	13.5	+	13.4	+	13.2	+	12.5	+	9.2	−
1974	18.3	+	16.9	+	15.6	+	12.1	−	11.2	−	13.0	−	12.4	±	6.2	−
1976*	16.1	+	15.6	+	13.6	+	12.1	−	11.3	−	12.3	−	11.9	−	8.3	−
1977	16.3	+	15.4	+	12.6	±	8.8	−	8.3	−	11.0	−	12.1	−	3.9	−
2. 一月份平均最低温度																
1975	16.2	+	15.8	+	13.8	+	10.7	+	11.3	+	12.0	+	10.8	+	7.3	±
1978	15.6	+	15.3	+	13.5	+	10.3	+	10.4	+	9.9	+	8.4	+	6.4	−
1974	14.6	+	13.6	+	11.2	+	8.0	−	7.5	−	9.8	−	8.7	±	3.2	−
1976	13.0	+	13.3	+	10.7	+	8.0	−	7.0	−	8.9	−	6.3	−	4.3	−
1977	13.5	+	12.9	+	10.7	±	6.7	−	6.1	−	8.5	−	7.1	−	1.8	−
3. 各年冬季极端低温(12—2 月)																
1975	12.3	+	11.2	+	9.5	+	5.6	+	6.4	+	6.0	+	4.3	+	1.0	±
1978	9.8	+	9.4	+	6.4	+	2.8	+	3.0	+	5.0	+	1.9	+	−1.2	−
1974	5.6	+	4.9	+	5.1	+	1.6	−	0.7	−	1.5	−	1.3	±	−2.1	−
1976	5.3	+	5.3	+	8.1	+	1.0	−	0.3	−	−1.4	−	−1.4	−	−2.5	−
1977	8.4	+	7.3	+	3.9	±	1.1	−	0.3	−	1.3	−	1.3	−	−3.0	−
4. 各年冬季地面 0 厘米极端低温																
1975	12.6	+	10.2	+	8.9	+	4.9	+	3.6	+	5.4	+	—	+	−0.9	±
1978	9.4	+	9.0	+	4.4	+	1.4	+	1.4	+	3.0	+	−0.5	+	−2.7	−
1974	4.6	+	3.0	+	1.8	+	−0.7	−	−4.5	−	−0.9	−	—	±	−6.4	−
1976	5.4	+	3.8	+	1.3	+	0.0	−	−3.6	−	−0.2	−	−3.5	−	−7.5	−
1977	6.9	+	5.5	+	3.4	±	0.7	−	−0.5	−	0.7	−	−0.5	−	−8.7	−
越冬区划	常年少量越冬区						间歇少量越冬区									

注: 1) 表中年份系按冬季 (12—2 月) 温度高低为顺序排列,以便找出越冬温度界限。
2) 越冬调查结果(+)号表示查到虫,(−)号表示未查到虫,(±)号表示偶尔查到极个别的卵条或若虫。
3) *为 12 月份资料,因该年 12 月份平均温度最低。
4) 1976 年冬至 1978 年春越冬调查工作由作者们进行; 1976 年以前系参照各地历年调查资料。

表2　我国南方各地区早稻黄熟收获期和褐飞虱长翅型成虫盛发迁出期

发生区	提供资料地点	地理位置(北纬)	早稻黄熟收获期		褐飞虱长翅型成虫盛发期
			早熟种	中晚熟种	
(二)少量过冬区(两广南部)	广东：海康、惠阳、汕头、花县、从化 广西：东兴、邕宁、南宁、贵县	20°55′—23°33′	6/上	6/下	6/中下
(三)南岭区	广东：曲江 广西：柳州、河池、永福、灵川、资源 江西：龙南、赣州 湘南：桂阳、郴州 福建：长泰、晋江、上杭、永春、大田、福清、长汀、永安	24°20′—26°05′	7/上	7/中下	7/上—中下
(四)岭北区	湘南：耒阳、零陵、武岗 江西：抚州、吉安、乐安、宜春 浙江：温州 福建：沙县、建宁、建阳、周宁、福鼎 贵州：天柱	26°16′—28°01′	7/中	7/中下	7/中下
(五)沿江区(南部)	湖南：沅江、花垣 江西：南昌 浙江：衙县、黄岩、临安、 安徽：东至、歙县、宁国、枞阳、太湖、繁昌 湖北：新洲、来风、埔圻监利、宜都、大冶 四川：涪陵	28°—31°	7/下	7/底—8/初	7/下—8 月初
沿江区(北部)	安徽：繁昌、无为、舒城、巢县、桐城 江苏：吴县、无锡、江阴、高淳 上海：奉贤、华漕 浙江：嘉善、临安	31°左右—32°	7/底	8/上旬	8/上旬

质，不能以“突增突发”现象作为唯一依据。1977 年我们在各观察点上，对迁出、迁入期的褐飞虱长翅型雌虫，进行了系统的卵巢解剖，按五级分级标准观察其发育情况（图 1），结果表明，各地迁出期（包括回迁）的长翅型雌成虫的卵巢发育级别，田间或灯下捕获的都以一、二级为主，均未交配，如图 1 横线下方所示各地迁出期卵巢发育级别的比例。田间长翅型雌成虫的卵巢以一级的比例为大，灯下的一级比例较田间为低。我们认为，这由于田间褐飞虱羽化后不断迁出，只有新羽化的成虫才有较多的被捕获机会。各地迁入期灯下捕获的长翅型雌成虫的卵巢级别，均以二级为主，交配率很低，这是迁来以后即趋灯，卵巢

还未继续发育之故(图1各地左侧横线上所示)。如南宁、乐安、扬州三地迁入期都为二级,永福二级占98.3%,三级以上仅占1.7%,且均未查到一级的,交配率为0—1.5%。而在田间捕获的长翅型雌虫,卵巢级别都在二级以上,且交配率高,这可能是迁到田间已经取食,卵巢已继续发育之故(图1各地右侧横线上所示)。在海拔1,840米的黄山顶峰高山网中,迁入期捕获的雌虫,也以二级为主,占99.1%,且均未交配。

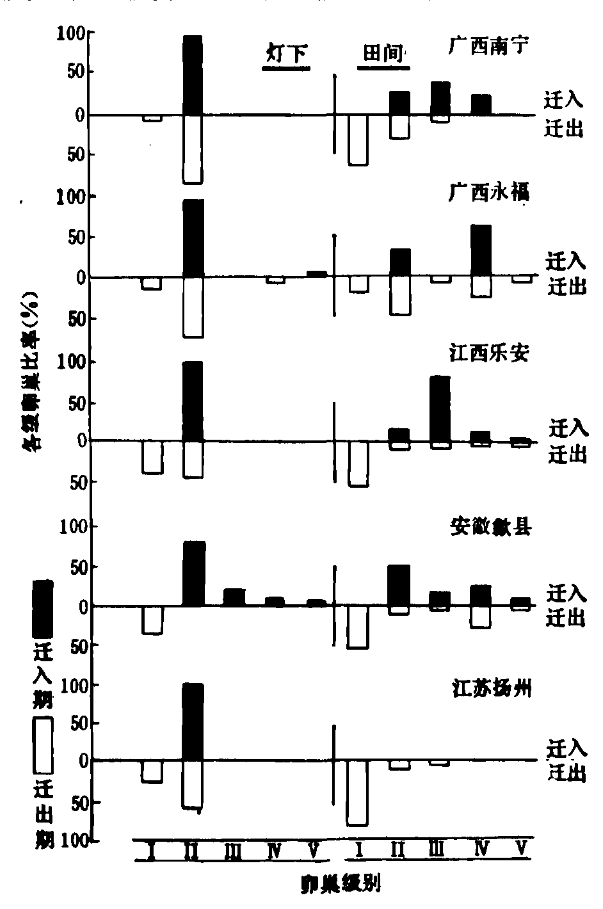


图1 褐飞虱长翅型雌成虫卵巢发育与迁飞的关系(1977)

上述事实可以说明,迁飞性昆虫起飞和运行时,其雌虫的卵巢都未发育成熟或处在交配之前的"羽化幼期"的后期、即成虫羽化后到具备充分飞行的能力时。Johnson和岸本良一都有相似的报道[14, 15, 20]。我们认为,解剖田间长翅型成虫的卵巢,鉴别其发育级别,可以作为研究迁飞途径的方法之一。1977年就是采用在多点同时解剖田间长翅型雌成虫,观察其卵巢发育级别,作出迁入、迁出或迁飞途径判断的。

(四)迁出地与迁入地灯下、田间虫量消长的关系

褐飞虱在水稻黄熟时羽化的长翅型成虫,具备了迁出虫源的条件,此时若当地预测灯下出现了虫峰,一般认为这就是迁出峰,但从1977年在各点的观察,褐飞虱在迁出期,通常在当地并不趋灯,而是在清晨或黄昏爬至稻株上部,劲直向空中飞去,若迁出地此时在灯下出现虫峰时,实际上这批虫子并未能外迁,而在当地灯下虫量"突减"时,才是真正的迁出峰,并与相邻近迁入地的虫量"突增",呈明显的衔接现象。

为了便于说明"此减彼增"的迁飞过程,我们将迁出地灯下虫量"突减"称为迁出的"暗峰",与迁入地灯下虫量"突增"的迁入峰("明峰")相呼应(图2)。

迁出地的虫源能否立即外迁,也即"暗峰"出现的条件和当地当时的天气条件有极为密切的关系。例如,1977年6月中、下旬广西南宁的长翅型成虫盛发期间,经系统解剖雌虫卵巢发育级别都为一、二级,6月23—24日灯下每日出现千头以上的虫量高峰;6月25—27日灯下虫量"突减",27日仅诱获几头;6月28日灯下虫量再度回升。对照南宁以北或东北面的湖南郴州、江西南昌、安徽歙县等地在6月23—24日于灯下并未发现"突增"现象,却在南宁出现"暗峰"的6月25—27日出现迁入峰,尤以离广西南宁较近的湖南郴州的迁入峰与广西南宁的迁出"暗峰"明显吻合。

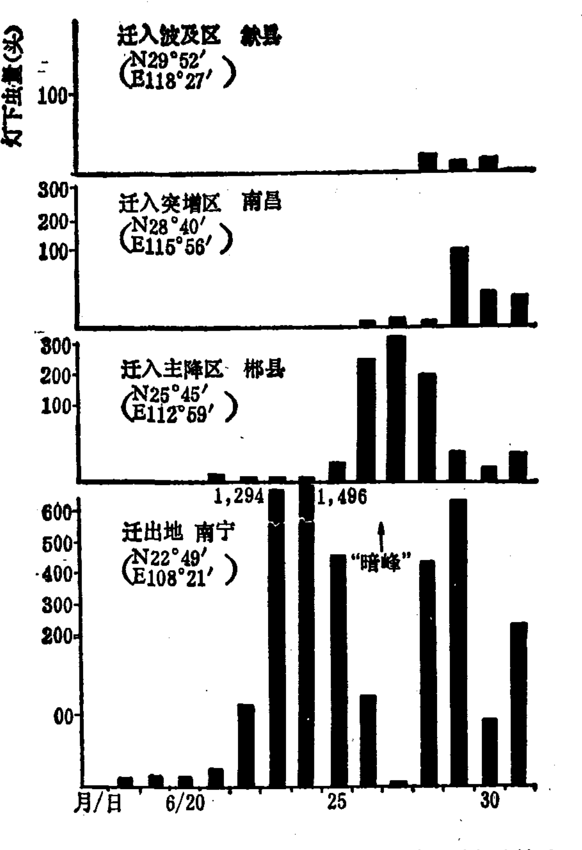


图 2　褐飞虱迁出地与迁入地预测灯下虫量消长的关系

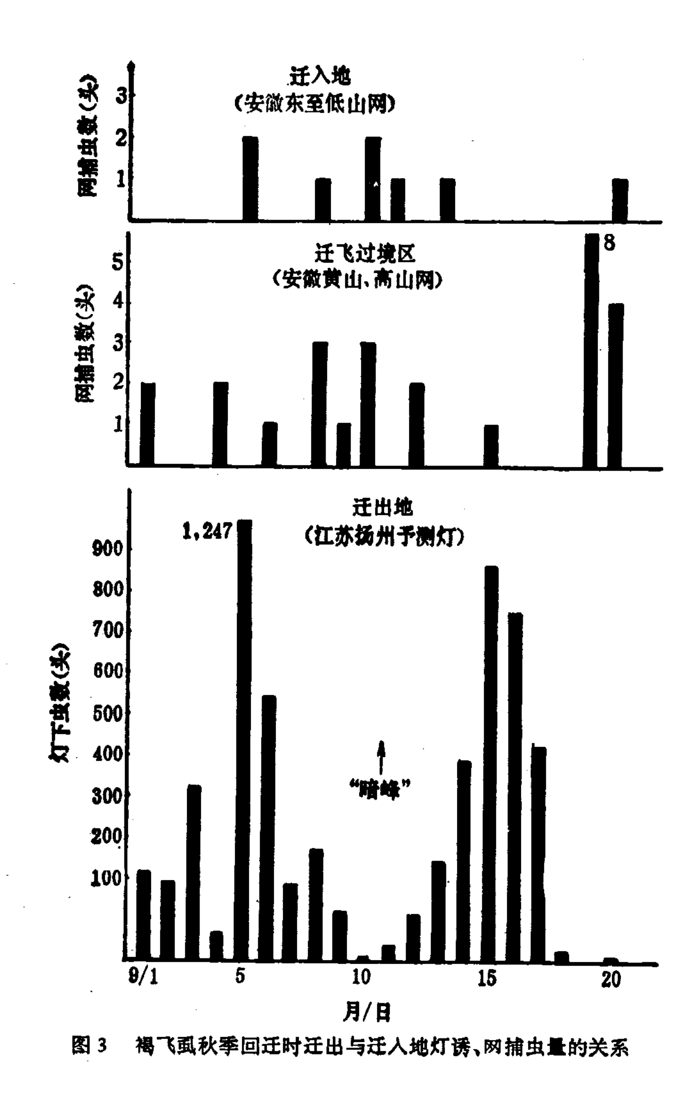


图 3　褐飞虱秋季回迁时迁出与迁入地灯诱、网捕虫量的关系

形成上述现象的原因,可从当地当时的天气情况的分析中得到解答。在6月25日前,地面静止锋摆动在南宁附近,当地的虫子无法上升外迁,所以趋向诱虫灯。此时趋灯的还包括南宁南方的虫源迁飞过境,受锋面的下沉气流迫降的虫子。到6月25日—27日副热带高压向北推进,静止锋通过南宁北移,虫子随气流迁出,故灯下虫量"突减"。6月26日静止锋经过郴州,抵达南昌,6月27日通过歙县,因此各地都依次相继出现"突增"或迁人峰。6月29日后,高空500毫巴在东经120°处副热带高压脊线跃过23°N,南宁位于副高压脊线南侧,该地已不具备迁出的天气条件,因此灯下虫量又复回升。这一现象在1977年各观察点以及其他地方都表现一致。如同年9月上、中旬褐飞虱由江淮区向沿江江南回迁时,发现扬州预测灯下的虫量消长与其南面安徽歙县黄山高山网捕获的虫量,以及东至县低山网中捕获虫量有明显的衔接现象,即当迁出地扬州于9月8日—12日灯下出现"暗峰"时,迁入地或过境区的黄山、东至县的网中则捕获到较多虫量,而在扬州未能迁出时的灯下出现明峰,黄山和东至县的网中捕虫量则减低(图3)。

在春夏季向北迁飞期间,凡出现上述迁出的"暗峰"时,500毫巴天气图上的副热带高压脊线均位于观察点南面3—4个纬距,当副热带高压脊线到达迁出地后,虫子则不能迁出;迁入地一般常在槽线、切变线的南侧,秋季回迁时则相反,常迫降在槽线、切变线或锋面的北侧的冷区中。看来一次迁飞过程,大约发生在副热带高压脊线以北到槽线附近的6—8个纬距之内,估计迁出地到主降落区约在300—600公里。1977年6月26日—7月4日f,峰,就很符合这种情况。

(五)广阔区域内"同期突增"现象的分析

1. 早期迁入时的"同期突增"现象

几年来,我们在扬州测报褐飞虱的过程中,发现每年夏季褐飞虱长翅型成虫的出现,呈"突增"现象。例如,从1976年6月上旬起,隔日或每日用扫网、盆拍、黄色盘诱集三种方法定田系统调查;另外还设置双色诱虫灯和普通诱虫灯,预测褐飞虱的发生,直至7月14日的一个多月内,五种方法均未查到虫。而在7月15—16日,五种查虫方法几乎同时发现褐飞虱,虫量虽少、每种方法只查到1—2头,但却同时突然发现。继又发现7月15—16两日,在浙江东阳、肖山,江苏吴江、宜兴、无锡、太仓、武进、扬中、淮安,安徽东至、巢县、桐城、舒城,上海川沙等县测报站预测灯下或田间出现"同期突增"。同年8月12日前后,在江苏、浙江、安徽、上海又出现一次典型的"同期突增"(图4)。1977年6月26日—7月4日间,从北纬25—34°,即自广西北部、湖南南部到苏北、皖北,出现一条西南—东北走向,纵横一千多公里的"同期突发带"(图5)。当时在广西、湖南、湖北、江西、福建、安徽、浙江、江苏、上海、四川和贵州等十个省、市、区一百多个病虫测报站的灯下或田间,甚至有关单位装置在衡山、黄山等六处的高山大型捕虫网,都同时出现这一"同期突增"现象。这种现象在同年自南向北迁飞期间,共出现11次(表3)。

我们认为,这种"同期突增"现象,是具有长距离迁飞习性昆虫种群的特征,因其迁降过程受气流影响,以致同时波及到如此宽广的范围。如果认为褐飞虱是在本地越冬后繁殖的,在如此广阔而栽培制度与自然条件又极不相同,怎能"同期突增"呢!

2. "同期突发"地区的虫量分布规律

1977年我们在各点调查、观察,结合各地同期诱虫资料的统计分析,看出褐飞虱的一

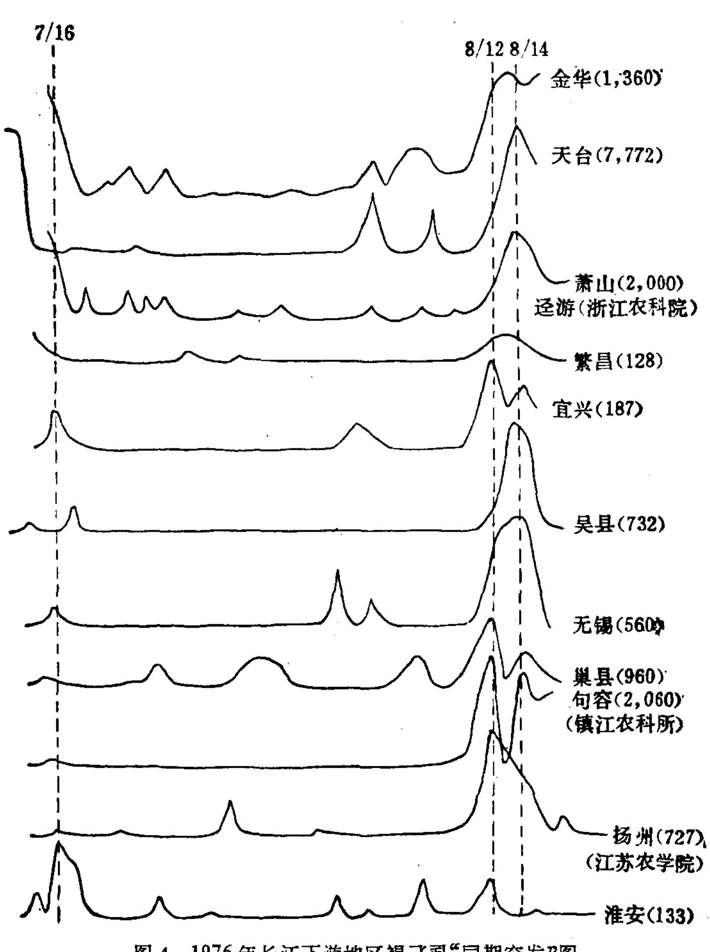


图 4　1976 年长江下游地区褐飞虱"同期突发"图
注：图中虫量以对数值计算，括号内的数字为高峰日虫量

次迁飞峰，在各迁入地的虫量是由近而远渐次递降，即距虫源地愈远，虫量愈少。图 5、图 6 表明，1977 年 6 月 26 日—7 月 4 日间，由两广南部早稻黄熟时，迁入南岭以北至长江流域的一次迁飞峰的各地虫量分布，以广西南宁为迁出地，凡距迁出地 3—6 个纬距（300—700 公里范围内），灯下一次峰期累计一千多头到近万头，有明显的迁入高峰，该地即为本次迁飞峰的主降区的降虫中心；凡离迁出地 6—9 个纬距（700—1,000 公里），该次迁入峰灯下累计数百头至近千头，为虫量突增区也属主降区范围；而远离迁出地大约 10 个纬距以外的地区，灯下诱集的虫量较少，表现为零星迁入，这些地区为波及区；而离迁出地 15 个纬距以上的地区，在灯下为当年始见，这些地区是该次迁入峰的波及区的边缘。

图 6 所表示的 51 个地点的灯诱总虫量与离虫源地直线距离的关系，经相关分析，两者呈明显负相关，$r = -0.9535$，相关极显著，$p < 0.01$，关系式 $y = 4 - 0.002x$，表明离虫源地愈远，降落虫量愈少，当离虫源地的直线距离每增加 500 公里左右，降落虫量递减 1/10。

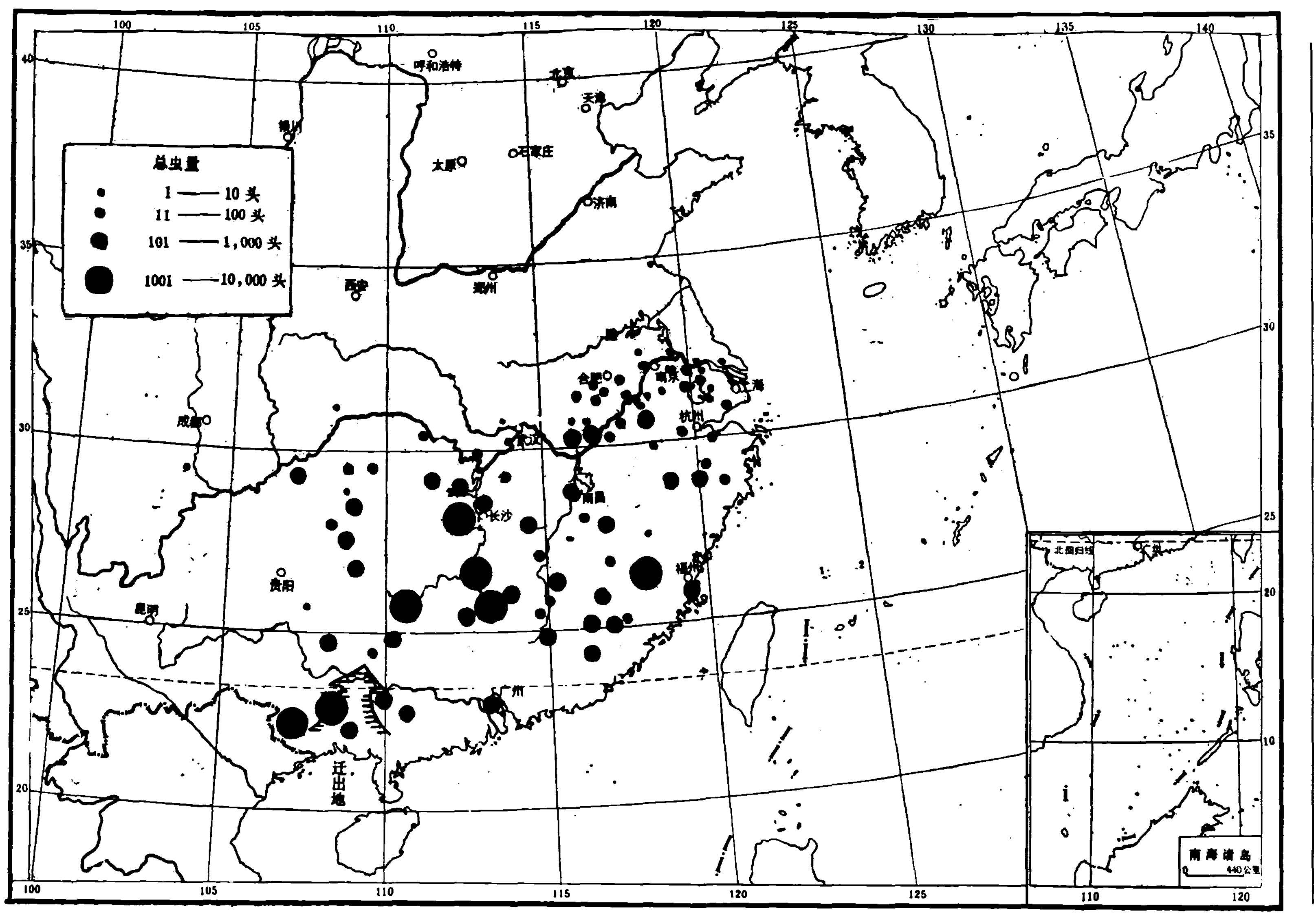


图5 1977年6/26—7/4间迁入峰 I_1 降落分布图

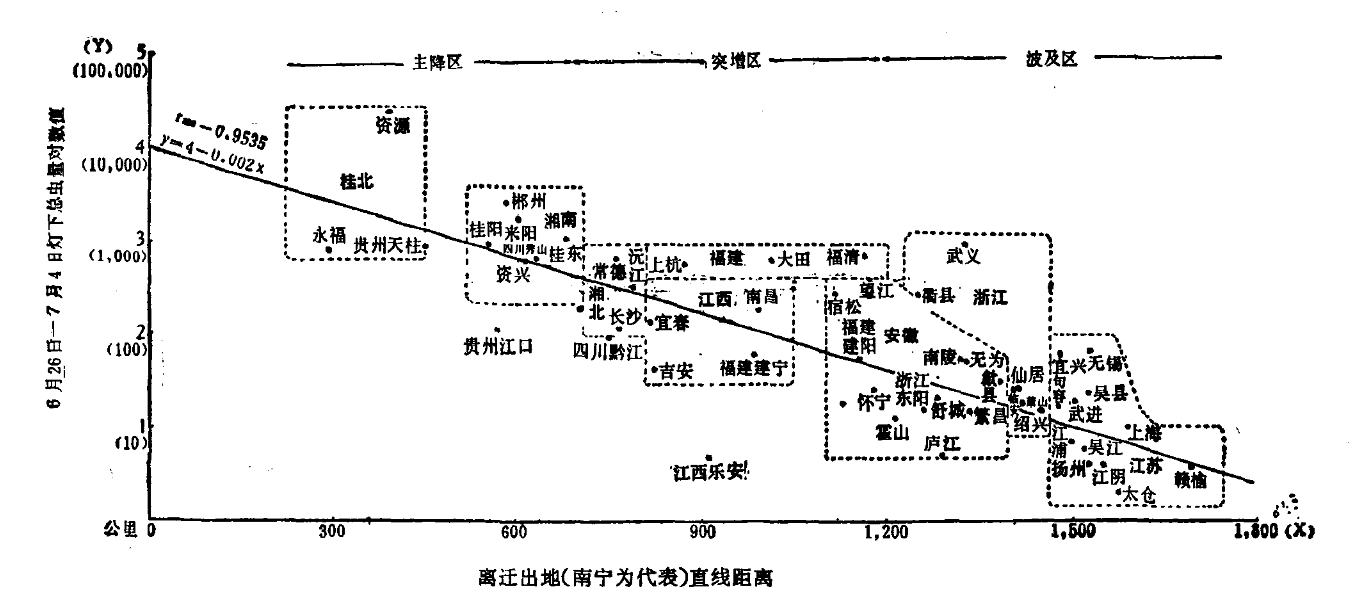


图 6　1977 年 f_1 迁飞峰在各地降虫量与迁出地距离的关系

（六）我国东半部地区1977年褐飞虱南北往返迁飞实况的观察

1977年通过在我国各稻区设立8个迁飞观察点的实地观察与调查，及各病虫测报站提供虫情、苗情资料的分析，发现在我国东半部地区当年有五次自南向北的迁飞过程，8月下旬起又有三次由北往南的回迁过程，在每次迁飞过程中，由于迁出地和虫源田的不同，或受当时天气条件的影响，往往出现若干个迁入(出)峰，现列图7、图8和表3、表4简介于下：

从上述图表可以看出褐飞虱的迁飞呈覆瓦式。春、夏季由南向北迁飞，秋季由北往南回迁。因此，各发生区是互为虫源地的。在各次迁飞过程中，除了主要迁入地区(称主降区)外；还会有少数虫量波及至更广阔的范围。

从近三年来褐飞虱在我国东半部地区南北往返迁飞的实况看来，各年间由于天气条件及虫源数量等影响，每个迁飞过程或峰次的主降范围、降虫中心地区及降虫量可能有所变动，但迁飞路线的走向，和各次大的迁飞过程，大体上是稳定的，这可能是由于各稻区的栽培制度、水稻成熟收割期和季节性气候也是相对稳定的。

（七）我国东半部地区褐飞虱的发生区划和南北往返迁飞途径的初步探讨

褐飞虱发生为害区的划分是根据具有“同期突发”、世代数及种群季节性发生型相同的地带，其分区界限一方面按近几年实际发生情况，另一方面参考有关气候及昆虫区划。我国东半部褐飞虱的六个发生区试行划分如下(图10)。

I. 终年繁殖区

位于19°N以南，或一月份19℃等温线以南。海南岛五指山分界岭以南的崖县、陵水、乐东等地属之。本区冬季极端低温在12℃以上，终年生长水稻，大面积早稻在4—5月份成熟，褐飞虱可以终年繁殖为害，全年可发生13代，早稻田长翅型成虫盛发与迁出期在5月中旬前。本发生区在我国的范围虽较小，但可反映中南半岛同纬度地区褐飞虱冬、春季发生的概貌。

II. 少量过冬区

位于19°N以北到北回归线(23°26′N)附近，包括两广南部、海南岛中、北部和福建南部部分地区。本区常年一月份平均气温在12℃以上，褐飞虱全年发生8—11代，春、秋两季发生多，为害早稻和晚稻，种群的季节性消长为马鞍型。根据常年发生世代数和过冬情况，又可分为两个亚区：

II_1 稳定少量过冬区(或雷琼9—11代区)

位于21°N以南，包括海南岛中、北部及雷州半岛的南端。常年一月份平均气温在14℃以上，褐飞虱稳定有少量过冬，海南岛中部的琼海县全年可发生11代。本亚区的早稻在5月下旬—6月上旬成熟，长翅型成虫也于此时盛发迁出。

II_2 间歇少量过冬区(或两广南部8代区)

约在21°N—25°N之间，包括北回归线以南的广西南部、广东南部沿海及珠江流域、福建南部的龙溪等地。全年可发生8代，冬、春温暖年份可以各种虫态在再生稻或落谷苗及当地栽培的“冬禾”上少量存活过冬。本亚区的早稻在6月中、下旬至7月初成熟，长翅型成虫也于此时盛发、迁出。在当地间歇过冬的虫量甚微，又经早春耕耙栽插，残存量更小。早稻上的褐飞虱实际上是3—5月间由热带稻区迁入繁殖的。

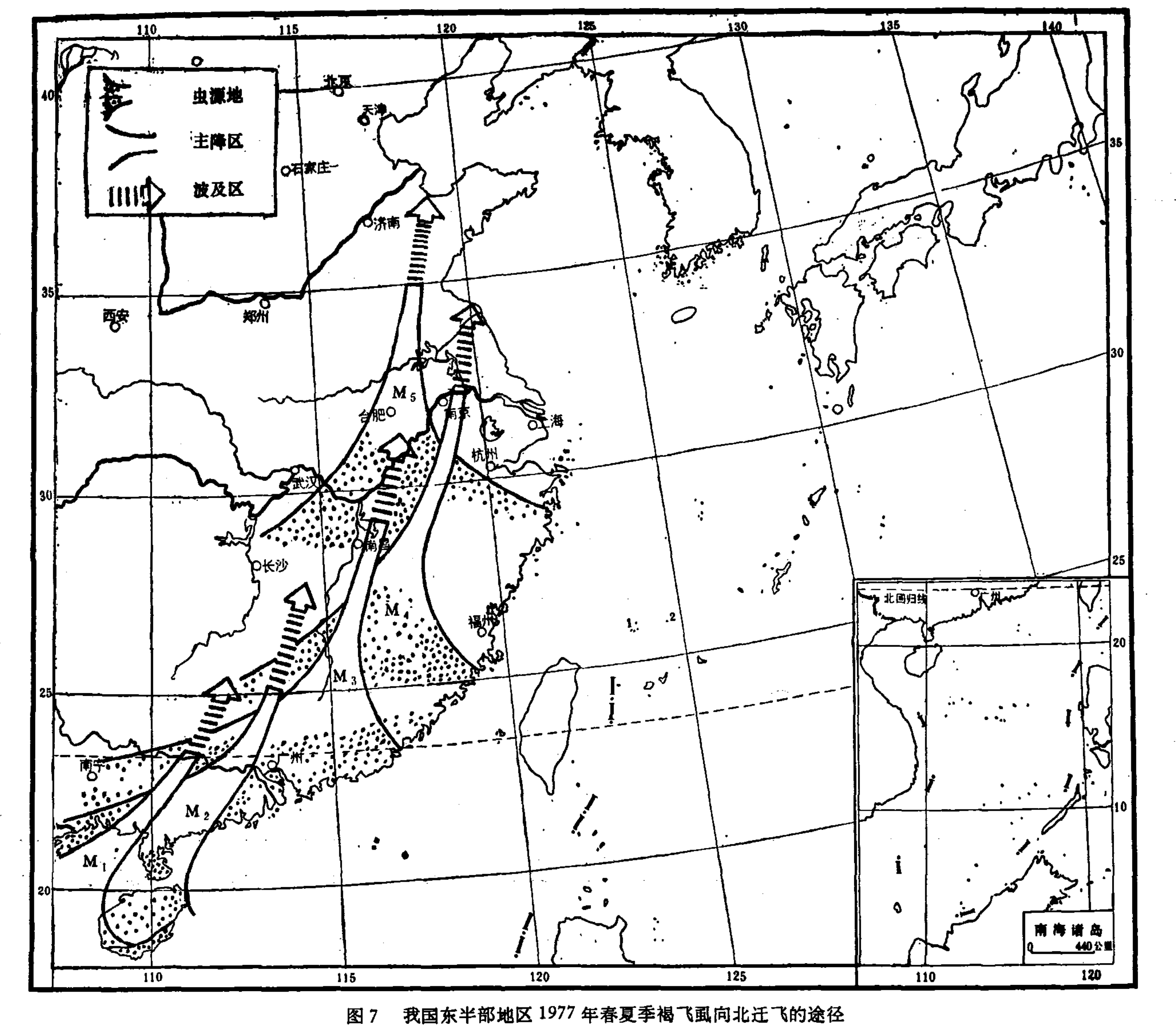


图7　我国东半部地区1977年春夏季褐飞虱向北迁飞的途径

M_1 第一次北迁(4/中—5/上)；　M_2 第二次北迁(5/中—6/上)；　M_3 第三次北迁(6/中、下—7/初)；　M_4 第四次北迁(7/上、中)；　M_5 第五次北迁(7/下—8/上)

表3 1977年春、夏季褐飞虱在我国东半部地区的北迁过程和峰次

北迁过程	峰次	高峰期（高峰日）	迁出地	迁入地		特点
				主降区	波及区	
M_1	f_1	4/12—15 (4/14)	19°N以南的终年繁殖区（海南岛南部、中南半岛中部以南的中热带地区）	海南岛中部与北部及同纬度其它地区	北回归线以南的两广南部	迁入虫量少，高峰不明显，是本发生区南面地区的迁入峰的波及区
	f_2	4/29—5/5 (5/4—5)	同上	两广南部	23°—26°N间南岭地区，包括广东和广西北部、湖南、江西、福建、贵州的南部	迁入虫量多，波及范围广
M_2	f_3	5/13—15	19°N以北（海南岛中部以北及中南半岛同纬度地区）	两广南部	南岭区	迁入虫量少
	f_4	5/25—6/2 (5/25、5/30)	同上	两广大部及南岭区	沿江区南部	常年为迁入南岭区的主要迁入峰，今年虫量不多，波及到沿江区
M_3	f_5	6/8—12 (6/9)	21°—22°N之间，两广南部的早熟早稻田	南岭区	沿江区南部	沿江区个别始见期
	f_6	6/15—17 (6/15)	两广南部的早熟早稻田	南岭区	岭北区及长江以南苏南、皖南等地	沿江区普遍始见期
	f_7	6/26—7/4 (6/28、7/3)	两广南部中、晚熟早稻田	南岭区、岭北区、沿江区南部	长江中、下游绝大部分地区	迁入虫量多，为主要迁入峰
M_4	f_8	7/8—10	南岭区，包括广东北部、广西北部、湖南南部、江西南部的早熟早稻田	沿江区，湖北、江西中北部，浙江及江苏、安徽两省南部	江淮和淮北区	沿江区主要迁入峰，江淮区常年始见期
	f_9	7/15—16	南岭区，包括湖南、江西两省南部、中部等地	长江中、下游的沿江区	江淮和淮北区	沿江区主迁入峰期，淮北区始见期
	f_{10}	7/21—24	岭北区、沿江区南部、长江中、下游的早熟早稻田	长江中、下游及江淮区	淮北区	常年江淮区的迁入峰
M_5	f_{11}	7/29—8/5	沿江区偏南部中晚熟早稻田及南岭以北山区的迟发早稻田	沿江区北部直至淮北区		常年为江淮区主要迁入峰

M_1……M_5 北迁过程的代号
f_1……f_{11} 北迁峰次的代号

表 4　1977 年秋季褐飞虱在我国东半部地区的"回迁"过程与峰次

回迁过程	回迁峰代号	高峰期（高峰日）	迁出地	迁入地		特点
				主降区	波及区	
第一回迁过程	RM_1	8/27—9/1 (8/29—31)	沿淮及淮北(33°N以北)，"春稻"田，或早熟中稻田	30°—32°N之间沿江区偏北地区	沿江区	首次回迁
	RM_2	9/4—6 (9/5)	同　上	沿江区	岭北区	峰期短，虫量少
	RM_3	9/7—12 (9/8—10)	江淮之间单季中籼稻田	沿江区	南岭以北	典型大量回迁
第二回迁过程	RM_4	9/19—22	江淮之间及沿江区混栽稻区迟中稻田	南岭以北		少量回迁
	RM_5	9/底—10/初	沿江区单季晚稻与杂优稻田	南岭以北		少量回迁
第三回迁过程	RM_6	10/7—15 (10/9—10)	沿江区、岭北区双晚稻田	南岭以南至两广南部		大量回迁
	RM_7	10/17—23 (10/20—23)	沿江区南部与岭北区双晚稻田	同　上		大量回迁

○ □始见及另星迁入期　△迁入激增期　迁入峰　过境　▼迁出峰

图 8　1977 年我国各地褐飞虱迁入迁出示意图

III. 南岭 6、7 代区

位于北回归线至 26°N 左右，包括两广北部、湖南和江西两省南部、贵州南部和福建中南部。全年发生 6—7 代，种群季节性消长为马鞍型。基本不能过冬，仅在本区南部冬、春特别温暖年份有极少过冬。本区早稻于 4 月中旬后栽插，4 月下旬—5 月初始见迁人，迁人峰在 5 月中、下旬—6 月中、下旬；早稻于 7 月上、中旬成熟，褐飞虱长翅型成虫也于同期盛发迁出。

IV. 岭北 5 代区

位于 26°—28°N 之间，包括湘江和赣江的中、下游，福建和贵州两省中部以北及浙江南部。全年约发生 5 代，种群季节性消长为马鞍型。早稻于 4 月下旬—5 月上旬栽插，7 月中、下旬成熟。长翅型成虫于 5 月上、中旬始见迁人，5 月中、下旬—6 月份出现几次迁人峰。长翅型成虫迁出期在 7 月中旬至下旬初；山区早稻迟发的田块则延至 8 月初迁出。

V. 沿江江南 4、5 代区

位于 28°—31°N 左右，长江下游可达 32°N。包括湖南和江西两省北部、湖北和浙江的大部地区、四川东南部、江苏南部、安徽南部以及沿长江地区。全年发生 4—5 代。种群季节性消长为阶梯上升型。常年 6 月上、中旬长翅型成虫始见零星迁人，6 月下旬—7 月初有一虫量突增期，7 月上、中旬先后有几次迁人峰。本区偏南的一些地方(30°N 左右)，在 6 月中、下旬和 7 月初迁人的虫量较大，常在当地繁殖一代后，于 7 月下旬—8 月上旬迁到本区北部或更北地区。本区主要在 9 月中、下旬—10 月上旬为害单季晚稻和双季晚稻的穗期。

VI. 沿淮 2—3 代区

本区可划为下列两个亚区：

VI_1 江淮 3 代区

位于 31°—33°N，长江下游为 32°—34°N 之间，即长江以北至淮河、秦岭以南。包括江苏、安徽中部、湖北北部、河南南部、陕西南部等地。全年发生 2—3 代。种群季节性消长为阶梯上升型。长翅型成虫 7 月初零星出现，7 月中、下旬先后出现几次虫量突增，但虫量不大；迁人峰在 7 月下旬—8 月上旬。本区水稻为单季中稻区。7 月上、中旬迁人的虫源，经繁殖 2 代后于 8 月下旬—9 月上旬为害。9 月上、中旬本区的部分早、中熟中籼稻黄熟时，长翅型成虫开始向南回迁。9 月上、中旬、9 月底和 10 初、10 月中旬，杂优稻和中粳稻次第成熟，出现几次回迁峰(图 9)。

VI_2 淮北 2 代区

位于 33°—35°N 之间，包括安徽和江苏北部、山东南部新稻区。常年发生轻微，不需专门防治。本稻区种植单季中稻，5 月中旬栽插于冬闲田或绿肥茬的为"春稻"，以早熟中籼为主，9 月上、中旬成熟；6 月中旬前后栽插于麦茬地的为"夏稻"，以中粳为主，10 月中旬成熟。长翅型成虫 7 月初零星迁人，7 月上、中旬有几次虫量突增，以迁进"春稻"田为主，7 月底至 8 月初出现明显的迁人峰，以迁进"夏稻"田为主。在"春稻"田繁殖两代后，于 8 月底—9 月上、中旬间第一次由北向南回迁。

褐飞虱在华北及东北辽河流域稻区，有零星发生，未见成灾，常年仅能发生 1—2 代，

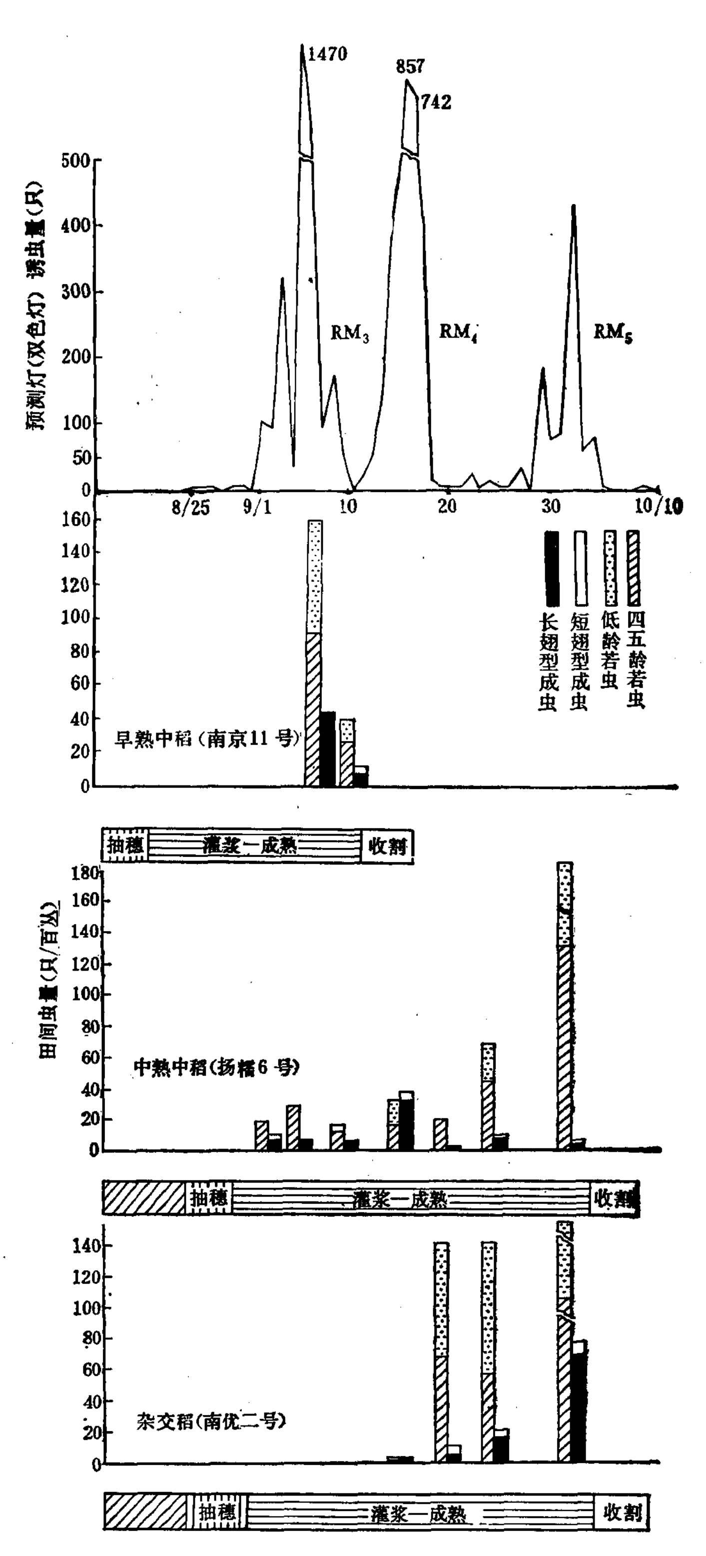


图 9　江淮稻区几种主要中稻品种生育期与褐飞虱盛发迁出期的关系(1977，扬州)

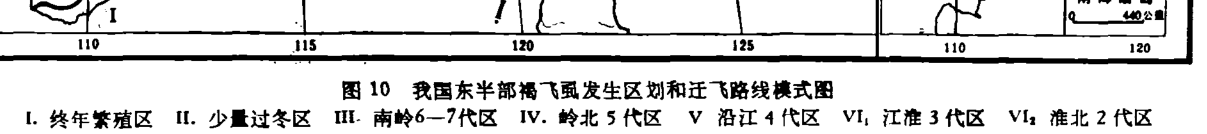


图10 我国东半部褐飞虱发生区划和迁飞路线模式图

I. 终年繁殖区 II. 少量过冬区 III. 南岭6—7代区 IV. 岭北5代区 V 沿江4代区 VI₁ 江淮3代区 VI₂ 淮北2代区

有关这些零星分布地区的发生情况，尚待进一步调查。

*　　*　　*

褐飞虱在我国东半部地区南北往返迁飞的途径，根据三年来的观察，特别是 1977 年在各稻区设迁飞观察点进行的系统观察，以及各病虫测报站提供的虫情资料的分析结果，初步提出如下：

褐飞虱常年在 3 月中旬前后，即开始零星迁入我国两广南部，4 月中、下旬—5 月上旬间出现几次迁入峰，即为第一次“北迁”，是由 19°N 以南的终年繁殖区迁来，主降在 20—23°N 间的两广南部珠江流域及闽南等地；5 月中、下旬—6 月初，第二次“北迁”，是由海南岛中部以北及中南半岛同纬度地区迁到我国两广南部与南岭地区，并成为南岭地区早期有效虫源；6 月中、下旬—7 月初第三次“北迁”，由两广南部稻区主迁到南岭以北，波及长江南岸；7 月上、中旬第四次“北迁”，是由南岭南、北稻区主迁到长江中、下游地区，并波及淮河流域；7 月下旬—8 月上旬的第五次“北迁”，自岭北及沿江江南区偏南部迁到江淮间及淮北稻区。

8 月下旬—9 月上旬沿淮、淮北早熟中稻成熟，开始向南回迁；9 月中旬出现由江淮间迁向长江以南的回迁峰；9 月下旬—10 月上旬，由长江中、下游回迁到南岭地区；10 月中旬起—11 月间，由江南、岭北回迁到华南以及更南地区。通过上述研究分析，初步提出我国东半部地区褐飞虱的发生区划与迁飞路线模式图(图 10)。

讨　论

综观国内外对褐飞虱发生规律的研究成果以及我们近年来的工作，认为褐飞虱是一种长距离迁飞性害虫。因其对水稻有明显的专食性，喜温暖，抗寒能力弱，没有真正的滞育越冬特性，因此在我国广大稻区冬季田间无稻苗存活的季节里难以存续，第二年春、夏季出现长翅型成虫“突增”，是由南方终年繁殖区渐次迁飞而来；在北回归线以南地区，冬、春温暖年份，虽能以各种虫态在当地再生稻苗上少量存活，但经早春耕耙栽插后，残存虫口基数甚微，在当地春季早稻田内为害的褐飞虱，主要还是由热带终年繁殖区迁来的。

褐飞虱每年春、夏季自南向北呈覆瓦式的迁飞，秋季又由北向南回迁，是本身生物学特性及其与外界环境相互矛盾统一的结果。从气候的观点来看，我国处于东亚地区的特定季风环流，是完成这一往返迁飞的外在条件，春、夏季副热带高压增强向北跃进，秋季减弱往南退缩、大陆高压出现东移南下，是褐飞虱自南向北和从北向南迁飞的动力；由这两个高压消长所形成的高空气流场——西南风与东北风，起着褐飞虱南北迁飞的运载作用，而不同季节内由于两大高压南北进退，推动冷暖气团在我国各稻区内交会形成的锋面天气，是使迁飞的飞虱迫降的条件之一[15]。由南向北的每次迁飞过程都发生在副高压脊线北侧与槽线(切变线)之间的地区内。

在东亚地区这一季节性气候下，形成我国南、北稻区水稻栽培生长季节的更迭衔接，又给褐飞虱降落后提供了食料条件。褐飞虱长距离迁飞的内在机制，尚待今后进一步研究。

近十年来随着我国及东南亚各国水稻栽培制度的改革，为褐飞虱的发生创造了更有利的条件，因此暴发频繁。继续探明其猖獗原因，将有助于寻求根治的途径。

参 考 文 献

[1] 雷惠质、王治海 1961 褐稻虱的防治研究。中国植物保护科学 208—26。

[2] 湖南省农科院植保研究所 1975 晚稻稻飞虱的发生规律及防治。湖南农业科技(植保专刊) **2**: 61—7。

[3] 浙江省农科院植保所稻虫课题组 1975 1973—1974 年褐稻虱的发生规律和防治方法研究。浙江农业科学 **4**: 11—7。

[4] 广西壮族自治区农科院植保研究所 1975 褐飞虱发生规律研究初报。广西农业科学 **5**: 19—24。

[5] 广东农林学院植保系 1976 水稻及稻田附近禾本科杂草飞虱种类及其主要习性。广东农业科学 **1**: 35—9。

[6] 广西区农科院、永福县病虫测报站 1977 褐稻虱发生规律研究续报。广西农业科学 **7**: 25—7。

[7] 江苏省褐稻虱科研协作组 1977 江苏省褐稻虱的初步研究。江苏农业科技 **4**: 43—9。

[8] 江苏农学院植保系、江苏省气象局气象台 1977 1976 年江苏省褐稻虱迁飞问题的探讨。江苏农业科技 **4**:50—7。

[9] 板仓 博 1973 昭和 48 年南方定点に飞来したウンカ类と气象との关系。植物防疫 **27**(12):7—10。

[10] 饭岛 恒夫 1973 昭和 48 年东シナ海における洋上飞来昆虫调查。植物防疫 **27** (12):11—3。

[11] Asahina, S. & Tsuruoka, Y. 1968 Records of the insects which visited a weather ship located at the Ocean Weather Station 'Tango' on the Pacific, II. Kontyu, **36**: 190—202.

[12] 岸本良一 1972 ウカ类の长距离移动。植物防疫 **26** (8):10—16。

[13] Kisimoto, R. 1973 Long distance migration of planthoppers *Sogatella furcifera* and *Nilaparvata lugens*, Symposium on Rice Insects, 201—16.

[14] Kisimoto, R. 1976 Synoptic weather conditions inducing long-distance immigration of planthopper, *Sogatella furcifera* Howvath and *Nilaparvata lugens* Stål. *Ecological Entomology* **1**(2):95—109.

[15] Johnson, C. G. 1966 A functional system of adaptive dispersal by flight. *Annual Review of Entomology*: 233—53.

[16] Kisimoto, R. 1977 Brown planthopper migration. Brown Planthopper Symposium, IRRI. (单印本)。

[17] Dyck. V. A. 1977 Ecology of the brown planthopper in Tropics. Brown Planthopper Symposium, IRRI. (单印本)。

[18] Kuno, E. 1977 Ecology of the brown planthopper in temperata regions. Brown Planthopper Symposium, IRRI. (单印本)。

[19] Hirao, J. 1977 Forecasting brown planthopper outbreaks in Japan. Brown Planthopper Symposium, IRRI. (单印本)

[20] Johnson, C. G. 1960 A basis for a general system of insect migration and dispersal by flight. *Nature* **186**:348—50.

STUDIES ON THE MIGRATIONS OF BROWN PLANTHOPPER *NILAPARVATA LUGENS* STÅL

CHENG SHIA-NIEN　CHEN JOR-CHIH　SI HSUE　YAN LIEN-MING
CHU TZU-LUNG　WU CHUN-TSAI　CHIEN JEN-KWEI　YAN CHIN-SHENG

(Department of Plant Protection, Kiangsu Agricultural College)

In recent years the brown planthopper *Nilaparvata lugens* Stål has become a serious pest of growing rice in China. The observations of last several years showed that this insect can only overwinter in South China where growing rice plants are present in winter. Detailed analysis indicated that the limiting average temperature in January for its survival is about 12°C or the extreme minimum temperature in winter not below 2° to 3°C. The northern boundary of its overwintering sites was along the Tropic of Cancer in a majority of years, but due to the yearly biases of the meteorological factors it may move between lat. 21° and 25°N.

Based on the time of its simultaneous sudden appearance in wide areas from spring to autumn five northward migrations including 11 peaks and three southward migrations including 7 peaks may be ascertained in 1977. It was found that mass migrations of the macropterous adults synchronized with the approaching maturity of rice in their original infesting areas. The ovaries of most macropterous exodus females remained at the first developmental stage or early second stage in these areas. During the migration the ovaries reached the second developmental stage as shown by dissecting the females caught in alpine nets. The numbers of the insects caught by the light traps in the emigration areas declined rapidly during the migration time whereas in the immigration areas the catches increased rapidly.

The emigration and immigration areas may cover quite wide ranges, and as judged with the population densities the immigration areas can be categorized into main and minor groups.

The migrations showed close correlation with the synoptic weather conditions. Continual SW winds favoured northward migrations in spring and summer while NE winds favoured southward migrations in autumn. Seasonal variations in atmospheric currents were of great importance in inducing the migrations.

Based on our observations on the occurrence of this insect in various regions we propose six outbreak regions as follows: 1. year round breeding and infesting regions, south to lat. 19°N, with 13 generations a year, 2. minor overwintering regions, from lat. 19° to 24°N, with 8 to 11 generations a year, 3. Nanling regions, from lat. 24° to 26°N, with 6 to 7 generations a year, 4. north to Nanling regions, from lat. 26° to 28°N, with 5 generations a year, 5. regions along Yangtze River, from lat. 28° to 32°N, with 4 to 5 generations a year, and 6. regions along the Huai River, from lat. 31° to 35°N, with 2 to 3 generations a year.

A schematic diagram is proposed to show the routes of the seasonal migrations of the planthopper.